基于 JPL 行星历表的殷卜辞乙巳日食观测的研究[1]

马利华，韩延本，尹志强，乔琪源

（中国科学院国家天文台，北京 100101）

摘要：对于殷商甲骨文卜辞中存在的唯一可考的一次日食的记载，作者利用美国航空航天局（NASA）喷气推进实验室（Jet Propulsion Laboratory，JPL）发布的 DE422 行星历表，解算了记载涉及此乙巳日食的主要参数，给出了日食带在地球上的覆盖范围。进一步确认了此次日食在殷都安阳的可视性，验证了殷卜辞对此次日食预测的准确度。

关键词：殷卜辞；JPL 行星历表；日食带

中图分类号: P1　　**文献标识码:** A　　**文章编号:**

我国是世界上天文学发达最早的国家之一，早在三千多年前就有可考的文字星象记载。这些古代天象记载不仅对于历史研究和古代天文学研究有重要价值，在现代天文学研究中也起着重要的作用[1]。殷卜辞是甲骨文的主要内容之一，是研究商周社会历史的重要资料。殷卜辞曾经记录一次对乙巳日食完整的预测，从壬子日开始卜问，两天后是否有日食？中间经过乙丑、癸酉、庚辰、辛巳多日，12 次不厌其烦地卜问，直到第 54 日的乙巳日，史官记载“日有食，夕告于上甲，九牛”的验词，意思是：“日食观测到了，晚上为此告祭先王上甲，献祭了九头牛。”这也是殷商甲骨文卜辞中唯一可考的一次日食预测。冯时进一步综合多位学者的研究成果，并根据干支的记载及不同时期的殷王所处的年代，考订认为此卜辞涉及的是发生于公元前 1161 年 10 月 31 日的日食[2]。张培瑜利用现代天文年历依据的纽康给出的根数和公式，得出太阳黄经，再用线性内插分析了公元前 1500 年到公元 2050 年间的天象，并给出了中国古代历史名城的见食情况[3]。刘次沅和马莉萍借助 Kluepfel 的 SunTracker 软件计算日食参数，给出公元前 2300 年到公元 2100 年间在中国可见日食的大致覆盖范围[4]。Espenak 和 Meeus 利用 VSOP87 和 ELP2000/82 计算日月位置，发布了公元前 2000 年到公元 3000 年间日食的地面可视情况[5-6]。本文利用美国航空航天局（NASA）喷气推进实验室（Jet Propulsion Laboratory，JPL）发布的 DE422 行星历表计算日月位置，研究公元前 1161 年 10

[1] 收稿日期：2021-06-　；修订日期：2021-
作者简介：马利华，男，研究员. 研究方向：应用天文学. Email: mlh@nao.cas.cn

月 31 日日食的日食带分布，重点考察殷都安阳对此次日食的可见性，为深入研究此次甲骨文日食的记载提供天文学帮助。

1 天文行星历表简述

天文行星历表对大地测量、天体测量、深空探测、飞行器测控及其他相关学科领域均都具有重要的实用价值。根据编制原理，太阳系行星和月球历表主要分为数值历表和半解析历表两大类。数值历表主要有 JPL 发布的 DE 系列行星历表、法国天体力学与历算研究所发布的巴黎天文台行星数值积分系列历表、俄罗斯应用天文研究所发布的行星和月球系列历表。半解析历表主要为法国天体力学与历算研究所巴黎月球历表（ELP2000/82）、行星轨道的长期变化序列历表（VSOP82/VSOP87/VSOP2000/VSOP2013）、外行星理论系列历表等。目前，DE 系列行星历表已经在天体测量、深空导航、行星际探测等方面得到较为广泛的应用[7]。2009 年 9 月 JPL 发布的 DE422 行星历表，数据跨度自公元前 3001 年 12 月 7 日至公元 3000 年 1 月 30 日，并包含章动和天平动信息。该历表可以满足研究者对古代天象记载研究的基本需求[8,9]。

2 基于 DE422 行星历表的日食计算

2.1 日月的视位置

为了计算日食的有关参数，需要知道在地心处观测日月的精确位置。进入 20 世纪 90 年代以来，JPL 发布的 DE 系列行星历表都采用国际天文联合会（International Astronomical Union，IAU）推荐的国际天球参考系统（International Celestial Reference System，ICRS），对应的国际天球参考架（International Celestial Reference Frame，ICRF）是通过一套河外射电源的位置来实现。其坐标原点是太阳系质心，坐标轴的指向在太空中是固定的。DE422 行星历表也采用 ICRF 参考架。利用该历表可以直接内插得到数据跨度内行星在任一时刻的三维直角坐标和速度信息。进一步利用美国海军天文台提供的 NOVAS 软件，可以得出日月的视赤经和视赤纬。

2.2 殷卜辞乙巳日食

（1）日月交会时刻

本文考虑公元前 1161 年 10 月 31 日发生的日食，首先内插得到日月视赤经相同的时刻为地球动力学时 07:30:24（Terrestrial Dynamical Time，TDT），这也是日月交会时刻。进一步分析表明，此次日食为日环食。表 1 给出发生初亏、食既、食甚、生光、复圆等食相的 TDT 时刻。

表 1 公元前 1161 年 10 月 31 日日食食相的 TDT 时刻

Table 1 TDT time of solar eclipse phase on October 31, 1161 BCE

Partial eclipse begins	Total eclipse begins	Maximum eclipse	Total eclipse ends	Partial eclipse ends
04:30:32	05:39:02	07:36:59	09:35:01	10:43:31

（2）日食带分布

考虑到地球自转的长期变化，地球动力学时（TDT）和世界时（Universal Time，UT）之间存在一个时间改正数ΔT[10-11]，ΔT 数值随时间发生变化。利用古代的天象记载情况，可以推算古代的ΔT 数值。反之，已知古代某天象年代的ΔT 数值，可以推算该天象当时的可观测情况。Stephenson 综合古代的若干天象记载，设定月球本征加速度为−26.0 角秒/(百年)^2，给出ΔT 的分段拟合公式[11]。本文所采用的 DE422 行星历表中，月球本征加速度为−25.85″/(百年)^2 [12]，加入该差别引入的改正后，可以得到公元前 1161 年 10 月 31 日的时间改正数ΔT 为 27361 秒。根据日月位置形成的日食几何关系[13]，可以得到此次日食的分布情况（见图 1）。

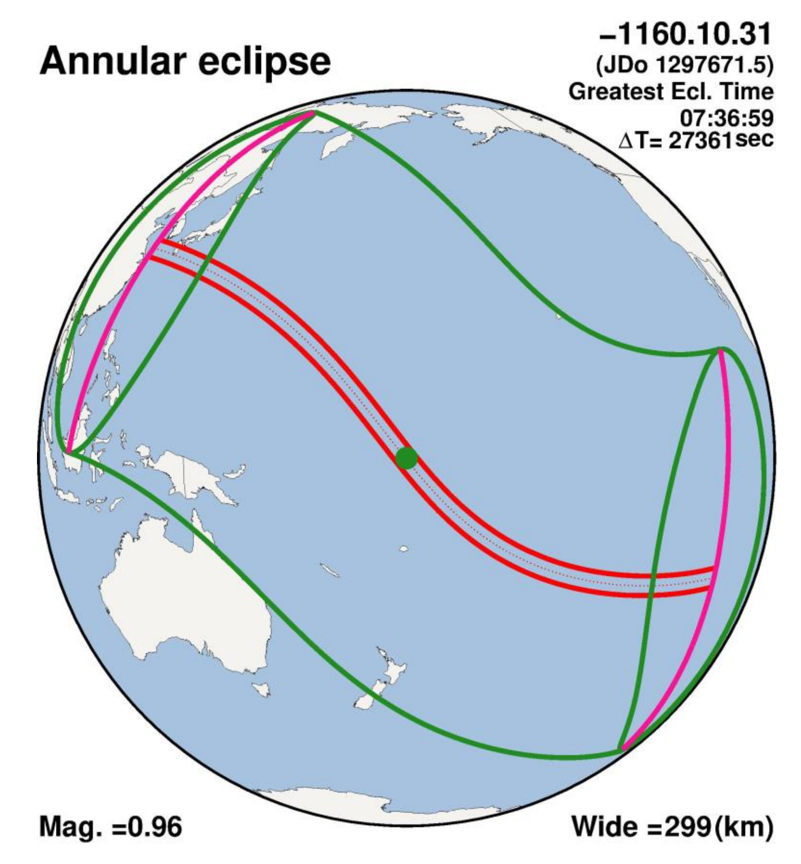


图 1 公元前 1161 年 10 月 31 日的日食带分布（方位角投影）

Fig. 1 The solar eclipse path on October 31, 1161 BCE under azimuthal projection

图 1 中 Mag 为食分，Wide 为中心食的日食带宽度。图 2 以圆柱投影方式给出此次日食的日食带分布。

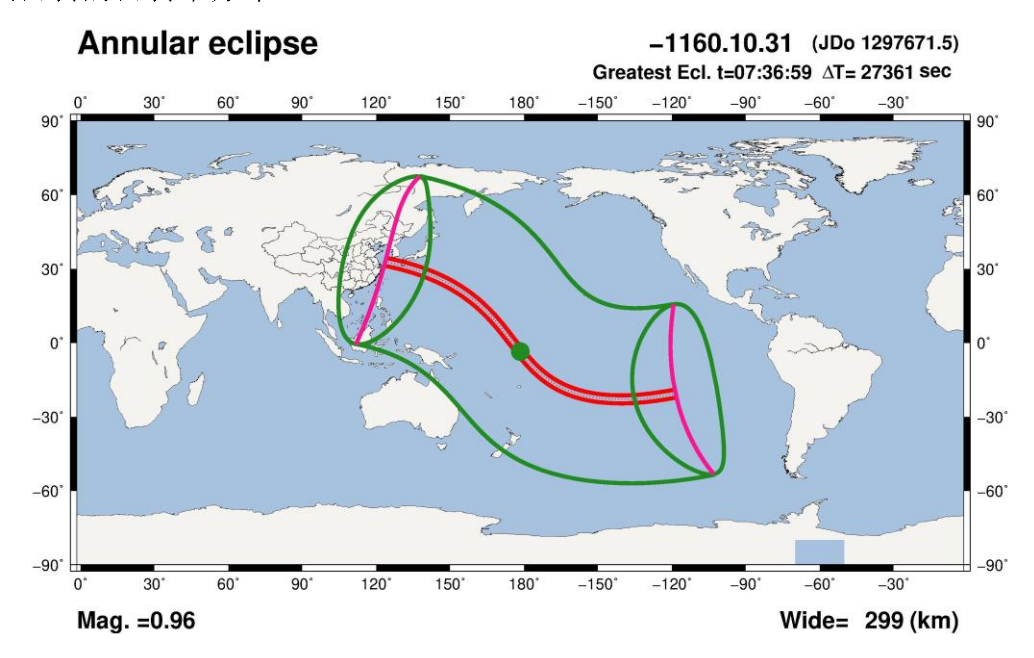


图 2 公元前 1161 年 10 月 31 日的日食带分布（圆柱投影）

Fig. 2 The solar eclipse path on October 31, 1161 BCE under cylinder projection

为了直观展示古代中国中原地区对此次日食的可观测情况，对图 2 局部放大得到图 3。图中，殷都安阳（经度：114º.38，纬度：36º.1）以黑色五角星标出。

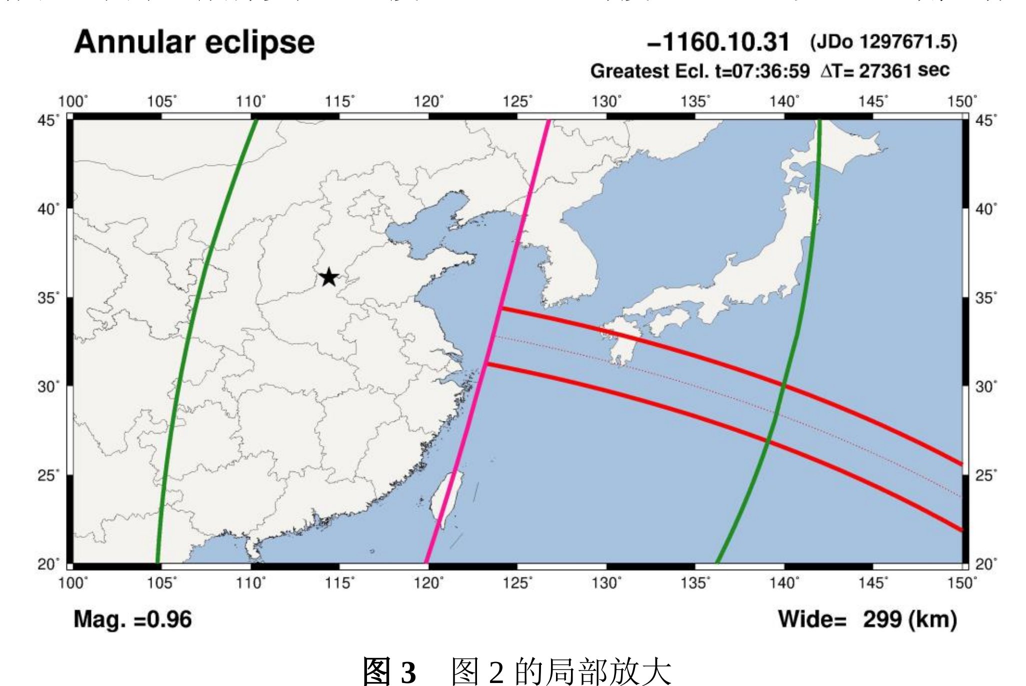


图 3 图 2 的局部放大

Fig. 3 Partial enlargement of Fig. 2

3 小结

本文利用美国喷气推进实验室发布的 DE422 行星历表，计算了殷商甲骨文卜辞中唯一可考的公元前 1161 年 10 月 31 日乙巳日食，给出日食带分布，确认了此次日食在殷都安阳的可视性，此次日食在中国中东部地区都是带食而出。本文结果表明，殷都安阳对此次日食具有实际观测到的条件，从侧面验证了殷卜辞对此次日食预测的准确度。

参考文献：

[1] 冯时. 中国天文考古学 [M]. 第 3 版. 北京: 中国社会科学出版社, 2017.

FENG S. Astroarchaeology in China [M]. 3rd ed. Beijing: China Social Sciences Press, 2017.

[2] 冯时. 殷卜辞乙巳日食的初步研究 [J]. 自然科学史研究, 1992, 11(2): 139-150.

FENG S. A preliminary study on the Yi Si solar eclipse in the oracle-bone inscriptions of the Yin dynasty [J]. Studies in the History Sciences, 1992, 11(2): 139–150.

[3] 张培瑜. 三千五百年历日天象 [M]. 郑州: 大象出版社, 1997.

ZHANG P Y. Astronomical phenomena of thirty-five hundred years of calendar days [M]. Zhengzhou: Elephant Press, 1997.

[4] 刘次沅，马莉萍. 中国历史日食典 [M]. 北京: 世界图书出版公司, 2006.

LIU C Y, MA L P. Canon of Chinese historical solar eclipses [M]. Beijing: World Publishing Corporation, 2006.

[5] ESPENAK F, MEEUS J. Five millennium canon of solar eclipses -1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE) [R]. NASA/TP-2006-214141.

[6] ESPENAK F, MEEUS J. Five millennium catalog of solar eclipses -1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE)-revised [R]. NASA/TP-2009-214174.

[7] 雷伟伟，李凯，张捍卫. DE 历表的结构、计算与比较 [J]. 飞行器测控学报, 2016，35(5), 375–384.

LEI W W, LI K, ZHANG H W. Structure, calculation and comparison of development ephemerides [J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2016, 35(5): 375–384.

[8] KONOPLIV A S, ASMAR S W, FOLKNER W M, et al. Mars high resolution gravity fields from MRO, Mars seasonal gravity, and other dynamical parameters [J]. Icarus, 2011, 211(1): 401–428.

[9] 马利华，韩延本，尹志强，乔琪源. 基于现代天文行星历表的仲康日食研究 [J]. 天文研究与技术. https://doi.org/10.14005/j.cnki.issn1672-7673.20201021.001

MA L H, HAN Y B, Yin Z Q, QIAO Q Y. Research on Zhongkang solar eclipse based on modern astronomical planetary ephemeris [J]. Astronomical Research & Technology. https://doi.org/10.14005/j.cnki.issn1672-7673.20201021.001

[10]韩延本. 由古代天象记载研究揭示的地球自转变化的两个重要现象 [J]. 地球物理学进展, 1996, 11(4): 116–118.

HAN Y B. Two interesting phenomena in variation of the Earth's rotation derived from studies of records of ancient astronomical observations [J]. Progress in Geophysics, 1996, 11(4): 116–118.

[11]STEPHENSON F R. Historical eclipses and Earth's rotation [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

[12]WILLIAMS J G, BOGGS D H, FOLKNER W M. DE421 lunar orbit, physical librations, and surface coordinates [R/OL]. (2008-05-14) [2021-06-04]. https://naif. jpl.nasa.gov/pub/naif/generic_kernels/spk/planets/a_old_versions/de421_lunar_ephe

meris_and_orientation.pdf
[13]唐汉良，余宗宽，沈昌钧. 日月食计算 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1980.
TANG H L, YU Z K, SHEN C J. Calculation of solar and lunar eclipses [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1980.

Research of Yisi Solar Eclipse Observation in the Oracle-bone Inscriptions of the Yin Dynasty Based on the JPL Planetary Ephemeris

Ma Lihua, Han Yanben, Yin Zhiqiang, Qiao Qiyuan
(National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101,
Email: mlh@nao.cas.cn)

Abstract: For the only solar eclipse recoded in the oracle-bone inscriptions of the Yin dynasty discovered so far, the authors use the DE422 planetary ephemeris released by the Jet Propulsion Laboratory (JPL) of the National Aeronautics and Space Administration (NASA) to calculate the main parameters involved in the Yisi solar eclipse, give the coverage of the solar eclipse path on the Earth. Furthermore, the visibility of the solar eclipse in Anyang, capital of the Yin dynasty is confirmed and the accuracy of the Oracle-bone inscriptions about the solar eclipse of the Yin dynasty is verified.

Keywords: Oracle-bone inscriptions; JPL planetary ephemeris; solar eclipse path